云　南　植　物　研　究　2009，31 (5)：389～398
Acta Botanica Yunnanica　　DOI：10.3724 SP. J. 1143. 2009. 09178

亚洲季风区铁杉属现代分布区及其气候特征

杨青松[1,2]，星耀武[1,2]，周浙昆[1]

(1 中国科学院昆明植物研究所生物多样性与生物地理学重点实验室，云南 昆明　650204；
2 现代古生物学和地层学国家重点实验室，江苏 南京　210008)

摘要：铁杉属在亚洲主要分布于亚洲季风区东部，间断分布于中国大陆、台湾岛以及日本列岛 (除北海道)。在中国大陆间断分布在西南山区 (横断山区和部分东喜马拉雅)、中部山区 (秦岭 - 大巴山区) 和东南山区 (华东山地)。亚洲季风区铁杉属的现代分布环境要求年降水量范围为 720～2 103 mm，生长季降水量为 635～1 489 mm；年均温范围为 5.8～18.2℃，冬季月均温为 - 2.7～11.5℃，年最冷月均温为 - 3.7～10.9℃，年最暖月均温为 13.0～28.2℃，气温年较差为 9.7～25.4℃。亚洲季风区铁杉属的现代地理分布与气候要素值相互关系的分析表明，无铁杉分布的朝鲜半岛及其邻近的我国东北山地和山东山地降水量均大于 700 mm，基本上能够满足铁杉属生长的水分条件；而朝鲜半岛及其邻近的我国东北山地和山东山地的气温年较差明显大于铁杉属分布区的值，同时两地的冬季月均温和年最冷月均温明显低于铁杉属分布区的值，这也是这些地区没有铁杉属分布的主要气候原因。总之，这些亚洲季风区水分条件能够满足铁杉属生长需要，但冬季温度 (包括冬季月平均温度和年最冷月均温) 和气温年较差无法满足铁杉属生长需要，导致这些地区无铁杉属现代分布记录。

关键词：铁杉属；亚洲季风区；现代地理分布；气候特征
中图分类号：Q 948　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0253 - 2700 (2009) 05 - 389 - 10

Modern Geographical Distribution of *Tsuga* and Its Climatic Conditions in the Asian Monsoon Region

YANG Qing-Song[1,2]，XING Yao-Wu[1,2]，ZHOU Zhe-Kun[1**]

(1 *Key Laboratory of Biodiversity and Biogeography*，*Kunming Institute of Botany*，*Chinese Academy of Sciences*，Kunming 650204，China；
2 *State Key Laboratory of Palaeobiology and Stratigraphy*，Nanjing 210008，China)

Abstract：In Asia，*Tsuga* is mainly distributed in the Asian Monsoon region，and intermittently distributed in Mainland China，Taiwan Central Ranges and Japanese Archipelago (except Hokkaido) . In Mainland China，it is discontinuously distributed in the southwestern mountains (the Hengduan Mountains and a part of the Eastern Himalayas)，the central mountains (the Qinling Mountains and the Daba Mountains) and the southeastern mountains (the East China mountains) . In its modern geographical distribution，*Tsuga* growth requires following climatic conditions：annual precipitation (AP) range of 720 - 2 103 mm，growing season precipitation (GP) range of 635 - 1 489 mm，annual mean temperature (AMT) range of 5.8 - 18.2℃，winter mean temperature (WMT) range of - 2.7 - 11.5℃，mean temperature for the coldest month (MTC) range of - 3.7 - 10.9℃，mean temperature for the warmest month (MTW) range of 13.0 - 28.2℃，and the annual range of monthly mean temperature (ART) range of 9.7 - 25.4℃ . In the Asian Monsoon region，AP in Korean Peninsula and its adjacent northeast China mountainous region，and the Shangdong mountainous region is more than 700 mm and generally meet the moisture requirements of *Tsuga* growth . But ART of these two *Tsuga*-free regions are apparently higher than that

---

基金项目：国家自然科学基金 (30670159) 和现代古生物学和地层学国家重点实验室基金 (093104) 联合资助
通讯作者：Author for correspondence；E-mail：zhouzk@mail.kib.ac.cn
收稿日期：2009 - 09 - 08，2009 - 09 - 15 接受发表
作者简介：杨青松 (1980 -) 男，博士，主要从事植物生物地理与分子生态学。E-mail：yangqs@mail.kib.ac.cn

of *Tsuga* regions, and WMT and MTC are lower than those for *Tsuga* regions . It indicates that temperature conditions, particularly WMT, MTC and ART are constraints for the growth of *Tsuga* in these Asian Monsoon region . In conclusion, moisture conditions can generally meet *Tsuga* living requirements in these monsoon mountainous regions, but winter temperature (including WMT and MTC) and ART become limited factors of *Tsuga* in these regions .

Key words: *Tsuga*; the Asian Monsoon region; Modern geographical distribution; Climatic conditions

铁杉属 (*Tsuga* Carr .) 植物间断分布于北美和亚洲东部 (LePage, 2003a), 是这些地区亚高山和低地森林群落的重要树种 (刘伦辉和邱学忠, 1980; Burns and Hongkala, 1990; Page, 1990; Thieret, 1993; Fu 等, 1999)。该属为松科常绿大乔木, 高 30～50 m, 胸径 40～80 cm, 全世界现存9种 (Farjon, 1990; LePage, 2003a), 其中北美分布有 4 种 (*T. heterophylla* (Raf .) Sarg ., *T. mertensiana* (Bong .) Carrière, *T. canadensis* (L .) Carrière 和 *T. carolniana* Engelm .) (Eyre, 1980), 东亚分布有 5 种 (*T. diversifolia* (Maxim .) Mast, *T. sieboldii* Carrière, *T. chinensis* (Franch .) E . Pritz ., *T. dumosa* (D . Don) Eichler, *T. forrestii* Downie) (Farjon, 1990)。东亚分布的 5 种中, *T. diversifolia* 为日本特有种 (Shidei, 1974; Ishizuka, 1974), *T. sieboldii* 分布于日本及其邻近的韩国岛屿 Ulleung-do (Havill 等, 2008), 其余三种分布于中国, *T. dumosa* 分布到东喜马拉雅山区 (Fu 等, 1999; Havill 等, 2008)。在世界植被中, 铁杉林是北美洲北部常绿针叶林的重要成分, 普遍分布于北方平原和南部山地, 呈现明显的水平分布与垂直分布 (南部) 的对应关系 (Eyre, 1980)。在亚洲仅局限分布于印度东北、东喜马拉雅、中国西南横断山区、中部秦岭 - 大巴山区、东南部华东山地、台湾中央山脉和日本列岛 (除北海道) 及邻近的韩国 Ulleung-do 岛屿 (Farjon, 1990; 李楠, 1999; Havill 等, 2008)。铁杉林, 至少在中国中低纬度地区, 成为亚热带山地植被垂直带中的一个显著类型, 特别是在青藏高原东南缘山地 (包括滇西北、川西) 植被中占有十分显著的地位, 成为我国植被的特点之一 (刘伦辉和邱学忠, 1980; 吴征镒, 1983)。

铁杉属植物对水分变化敏感, 耐旱能力低 (Farjon, 1990; Haas and McAndrews, 1999), 现代铁杉属植物都分布在海洋性到次大陆性的气候带内 (Farjon, 1990)。北美铁杉属分布很大程度受到水分条件限制 (Farjon, 1990; Peterson and Peterson, 2001), 研究表明夏季干旱导致北美铁杉林在全新世 (5.7～5.1 ka) 大量减少 (Haas and McAndrews, 1999; LePage, 2003a)。刘伦辉和邱学忠 (1980) 认为我国的西南部和藏东南山区, 深受高山地形和西南季风强烈影响, 在一定海拔高度范围内形成云雾带, 为铁杉属的生长提供了有利条件, 这是我国低纬度高海拔地区铁杉林发育特别好的主要原因。但他们对铁杉属气候特征仅进行了定性描述, 且讨论范围也只是针对我国的铁杉属, 那么亚洲铁杉属分布区的气候特征如何? 亚洲铁杉属是否都分布在湿润的环境下? 亚洲铁杉属植物并非连续分布, 中国大陆、台湾和日本列岛中南部山地都是相互隔离的区域; 在我国湿润的亚热带, 铁杉属分布也存在明显差异: 西部分布密集 (在海拔 2 400～3 000 m 的山区呈带状分布), 东部分布星散 (刘伦辉和邱学忠, 1980)。前人研究多表明铁杉属分布于气候温和的环境 (七月平均温 > 10℃, < 20℃; 夏季日照长而温暖、潮湿) (姜恕, 1960), 安芷生等 (1990) 认为气温年较差小于 22℃是铁杉属生长的必要条件。铁杉属的现代分布与当地气候特征, 尤其是水分条件和温度条件之间的关系如何? 本文试图通过铁杉属现代地理分布与气候要素值相互关系的分析, 获得亚洲铁杉属生存的气候指标, 进而探讨造成铁杉属在亚洲现代分布格局的气候原因, 为研究铁杉属的生境条件提供必要的科学依据。

1 材料与方法

1.1 资料来源

亚洲铁杉属分布资料来源于中国数字标本馆 (Chinese Virtual Herbarium, CVH)、中国科学院昆明植物研究所标本馆 (KUN) 的标本记录以及相关文献 (Hirokawa, 1976; Farjon, 1990; Fu 等, 1999; Havill 等, 2008)。本研究的气候资料使用了英国 East Anglia 大学 Climatic Research Unit (简称 CRU) 提供的 1961～1990 年期间包括月平均

温、月降水量等要素的全球 0.5 * 0.5 度格点资料（CRU TS2.0）(New 等，2002)。通过采用双线性插值方法把 CRU TS2.0 插值到横断山区、秦岭 - 大巴山区、台湾中央山脉、日本列岛等铁杉属分布区及朝鲜半岛、山东山地等对照区域（无铁杉分布地区），得到当地的气候标准值。相关分析表明，无论从气候参数还是从时间序列上来看，亚洲境内的 CRU 数据都有着相当高的可靠性（闻新宇等，2006；杨续超等，2009；Choi 等，1998；Zaikido 等，2006）。

1.2　气候指标

本研究选择了 7 个主要气候指标：年均温（annual mean temperature，AMT）、冬季月均温（winter mean temperature，WMT）、年最冷月均温（mean temperature for the coldest month，MTC）、年最暖月均温（mean temperature for the warmest month，MTW）、气温年较差（the annual range of monthly mean temperature，ART）、年降水量（annual precipitation，AP）、生长季降水量（growing season precipitation，GP）。其中冬季月均温为 12、1、2 月平均气温，年最冷月均温为 1 月月均温，年最暖月均温为 7 月月均温，气温年较差为年最暖月均温与年最冷月均温的差值；生长季降水量为当年 5 月至 10 月降水量的总和。将铁杉属现代地理分布信息分别与上述气候要素值的空间分布对比，借以研究铁杉属分布区的气候特征。进一步，通过与对照区域气候指标数值及其范围的对比，明确铁杉属分布区的气候特征。

为计算适宜铁杉属生长的年均温范围（其他气候指标类似），这里采用了如下方法：首先，以横断山区为例，计算该区域内铁杉属所有分布点年均温的平均值和标准差；然后，计算分布点年均温值大于平均值 + 0.5 个标准差的所有点年均温平均值，从而得到温度范围的高值 T_{high}；类似地，计算分布点年均温值小于平均值 - 0.5 个标准差的所有点年均温平均值，从而得到温度范围的低值 T_{low}，则该区域适宜铁杉属生长的温度范围为 T_{high}～T_{low}。通过计算发现，在该温度范围内的铁杉属分布点总数占该区域内所有分布点总数的比例一般达 80% 以上。其他区域按类似方法计算，将各个区域的范围综合，进而得到亚洲铁杉属适宜分布的气候范围。

2　结果与讨论

2.1　亚洲季风区铁杉属地理分布

标本记录显示，东亚铁杉属分布于水分充足的亚洲季风区东部，但在该地区并非是连续分布的（图 1）。在中国大陆，铁杉属分布在 85.9～119.4°E，23.9～34.0°N 之间，间断分布于 3 个区域，即横断山和东喜马拉雅地区（85.9～104.7°E，23.9～31.7°N，以下简称横断山区）、秦岭 - 大巴山区（107.3～110.8°E，27.7～34.0°N）、华东山地（110.2～119.4°E，24.1～31.4°N）(图 1)。其中横断山区铁杉属分布记录最多，秦岭 - 大巴山区次之，华东山地仅零星记录。在垂直分布上，中国大陆现代铁杉属分布海拔从 650 m（安徽黄山）直到 4 050 m（四川木里），有 2 个较明显的海拔分段，其中 1 000～1 800 m 主要是中国铁杉（*T. chinensis*）；2 000～3 200 m 分布的主要是云南铁杉（*T. dumosa*）。在台湾，铁杉属分布在中央山脉海拔 2 000 m 以上的山区，成为中央山脉 2 400～3 000 m 海拔范围内显著的植被带（Hsieh 等，1994）；而在日本列岛铁杉属分布于 40°N 以南的本州、九州、四国，集中于海拔 500～1 500 m 的山地（Shidei，1974；Ishizuka，1974；Hirokawa，1976）。在韩国铁杉属植物仅分布于 Ulleung-do 岛屿（Havill 等，2008）。下文进行气候条件对比研究中，根据现代地理分布，将亚洲季风区铁杉属分布区划分为 5 个区域，即西南山区（横断山区和部分东喜马拉雅地区）、中部山区（秦岭 - 大巴山区）、东南山区（华东山地）、台湾中央山脉和日本列岛（除北海道）(图 1)。由于韩国的 Ulleung-do 岛屿与日本列岛气候条件区别不大，且面积小，不具代表性，下文未参与讨论。

2.2　亚洲季风区东部铁杉属分布区的气候条件

亚洲铁杉属分布区年降水量范围为 720～2 103 mm，平均值为 1 457 mm，生长季降水量范围为 635～1 489 mm，平均值为 1 028 mm (表 1)。整体上，铁杉属分布区的水分条件优越，环境湿润（图 2)。其中西南山区年降水量平均值最低，范围最大，而台湾山地年降水量平均值最高，范围最小。日本列岛年降水量平均值和范围都较中部山区和东南山区大（表 1），生长季降水量具有与年降水量相似的规律。降水量指标充分反映铁杉属生长喜欢湿润的特点，亚洲季风区东部年降水量普遍大于 700 mm，生长季降水量多数大于 500 mm（图 2），基本都可以满足它的水分要求。亚洲季风区东部铁杉属的不连续分布似乎并不是水分因素造成，下文将作具体分析。

亚洲铁杉属分布区的年均温范围为 5.8～18.2℃，平均值为 13.1℃；冬季月均温范围为

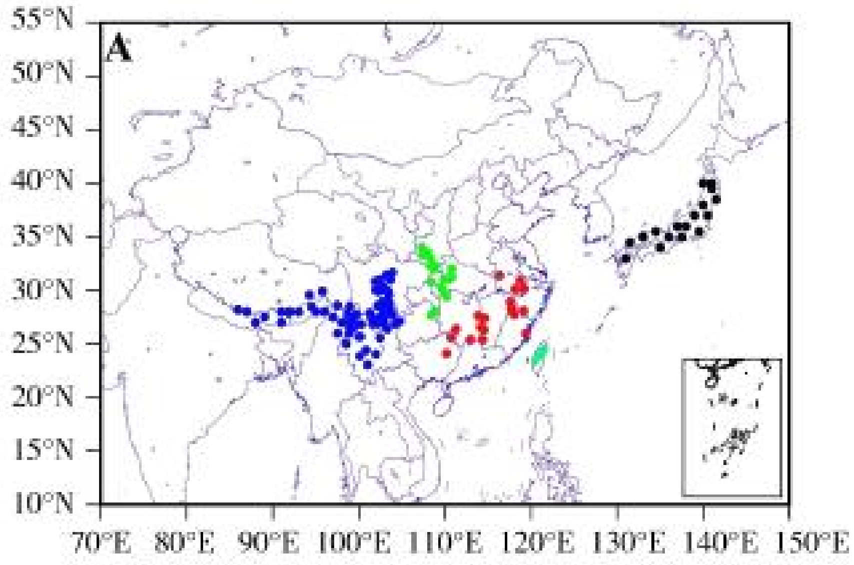

图1　亚洲季风区东部铁杉属现代地理分布

A.**水平分布**；B.**垂直分布.暗蓝色圆点**：**西南山区**；**绿色圆点**：**中部山区**；**红色圆点**：**东南山区**；**浅蓝色圆点**：**台湾中央山脉**；**黑色圆点**：**日本列岛**（**除北海道**）

Fig.1　*Tsuga* modern geographic distribution regions in the eastern part of the Asian monsoon region

A. Horizontal distributions; B. Vertical distributions. Dark blue dots: the southwestern mountains; Green dots: the central mountains; Red dots: the southeastern mountains; Sky blue dots: the Taiwan Central Ranges; Black dots: the Japanese Archipelago (except Hokkaido)

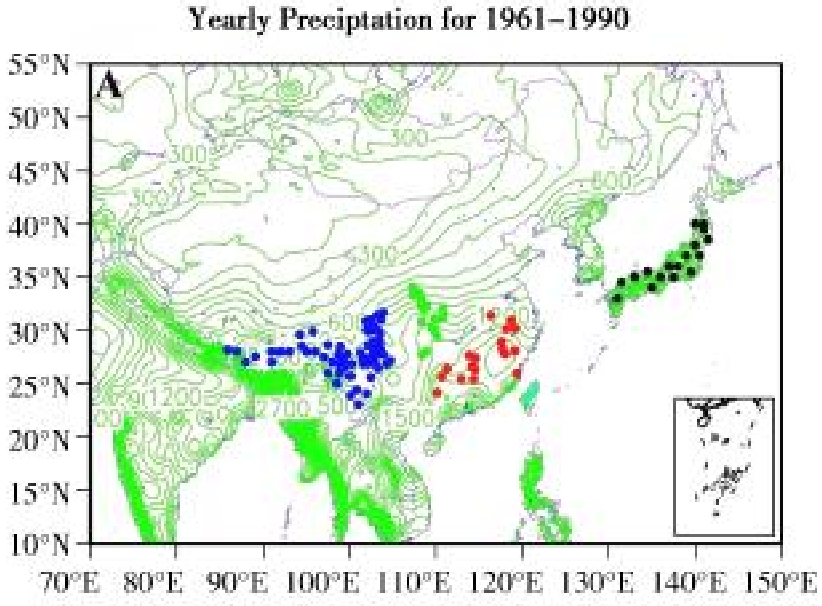

图2　亚洲季风区铁杉属现代地理分布与降水指标　A.**年降水量**；B.**生长季降水量。图例见图**1

Fig.2　Moisture indices and *Tsuga* modern geographic distributions in the Asian Monsoon region

A. Annual precipitation; B. Growing season precipitation. Legends see in Fig.1

-2.7～11.5℃，平均值为4.6℃；年最冷月均温范围为-3.7～10.9℃，平均值3.6℃；年最暖月均温范围为13.0～28.2℃，平均值22.3℃（表1）。整体而言，铁杉属分布区的气温条件较温凉，气温平均值都较低。其中东南山区年均温值最高，台湾山地次之，中部山区又次之，西南山区和日本列岛年均温值相似，为最低（稍高于10℃）；年最暖月均温值具有相似的规律。联系中国大陆地区铁杉属分布记录的多寡，可以看出铁杉属为一类喜温凉的类群，在较凉的西南山区比在较暖的东南山区分布记录集中（图3）。就范围而言，西南山区的年均温、年最暖月均温范围最大，日本列岛次之，其余3个地区年均温范围相近（约4℃）。在冬季温度的指标中，日本列岛冬季温度的值最低（冬季月均温0.4℃，年最冷月均温-0.8℃），西南山区和中部山区的值较高，台湾山地的值最高，东南山区介于前两者之间（表1）。在范围上，西南山区冬季月均温和年最冷月均温范围最大，日本列岛次之，而东南山区的范围与日本列岛的范围区别不大（都在6℃左右），中部山区的范围较东南山区的小，台湾山地的范围最小（图3，4）。在各温度指标

中，冬季温度指标（包括冬季月均温和年最冷月均温）的范围变化明显大于年均温和年最暖月均温，说明铁杉属分布区的冬季温度波动大，表明铁杉属现代分布对冬季温度的变化敏感；同时冬季温度变化的范围部分反映了铁杉属分布记录的多寡（表1）。

亚洲铁杉属气温年较差范围为9.7～25.4℃，平均值为18.7℃（表1），表明铁杉属分布区气温波动小。这与安芷生等（2006）认为气温年较差不大于22℃是铁杉属生长必要条件的结论较一致，表明铁杉属分布对气温变化比较敏感。其中气温年较差值以日本列岛最大，中部山区和东南山区较大，西南山区介于前二者之间，台湾山地最小。从气温年较差值大小，联系中国大陆铁杉属分布记录的多寡，可以看出气温年较差与铁杉属在中国大陆的分布密切相关（图3：B）。

2.3　亚洲季风区东部铁杉属分布与气候要素的关系

为进一步明确铁杉属在亚洲季风区东部的气候特征，我们将铁杉属分布区与朝鲜半岛及邻近的我国东北山区（122.0～130.0°E，35.0～41.0°N，以下简称朝鲜半岛）、山东山地（117.0～122.0°E，35.0～37.4°N，区域内海拔大于200 m的地带）(图4）两个无铁杉属分布山区的气候特征进行了对比分析。结果表明，无铁杉属分布的朝鲜半岛、山东山地年降水量均大于700 mm（表2），如果将亚洲和中国大陆铁杉属分布区的气候指标值作为铁杉属生存必须的条件（表2，黑体字数据部分），那么这两个地区都有铁杉属适合分布的水分条件。表明在上述两个地区，水分条件不能视为铁杉属在这些地区没有分布记录的主要气候原因。

在温度指标中，虽然年均温值和最暖月均温值与铁杉属分布区的值区别不大，但朝鲜半岛和山东山地的冬季月均温值和年最冷月均温值明显低于铁杉属分布区的值（表2，斜体字数据部分）；同时朝鲜半岛和山东山地的气温年较差值都较大，与铁杉分布区的气温年较差区别明显（表2，斜体字数据部分）。因此，气温年较差和冬季温度可能是造成上述地区无铁杉属分布的气候原因。在亚洲季风区，铁杉属在日本列岛能够分布到40°N，成为铁杉属在亚洲季风区分布的北界，其气候条件可以认为是铁杉属分布的极限（表1）。日本列岛属于海洋性气候，降水量丰富（年降水量范围1 425～2 011 mm，平均值为1 635 mm）；同时，该区冬季月均温（范围 -1.3～4.2℃，平均值为0.4℃）和年最冷月均温（范围 -3.5～3.2℃，平均值为 -0.8℃）较高，气温年较差较小（范围22.3～25.4℃，平均值为24.1℃），接近或位于中国大陆铁杉属分布区气候指标值的范围。而与日本列岛纬度相似的朝鲜半岛虽然年降水量（范围770～1 329 mm，平均值1 064 mm）能够满足铁杉属生长的需要，但低的冬季月均温（范围 -14.4～ -2.8℃，平均值 -8.5℃）和年最冷月均温（范围 -16.7～ -4.5℃，平均值 -10.6℃），尤其是大的气温年较差（范围27.9～36.9℃，平均值32.5℃），导致铁杉属在该地区没有分布。同样的，山东山地较低的冬季月均温（范围 -2.4～0.2℃，平均值 -0.9℃）和年最冷月均温（范围 -3.8～ -1.3℃，平均值 -2.4℃），较大的气温年较差（范围26.2～28.1℃，平均值为27.7℃），也导致铁杉属在该地区没有分布。

总体而言，气候特征分析表明，铁杉属植物喜欢湿润（年降水量范围720～2 103 mm，平均值为1 457 mm）的气候条件，上述朝鲜半岛和山东山地都能够满足铁杉属分布的水分条件。铁杉属植物分布于气候温凉（年均温范围5.8～18.2℃，平均值为13.1℃）的环境，对气温波动适应能力小（气温年较差平均值小于20℃），低温耐受性也不大（冬季月均温平均值大于4.5℃，年最冷月均温平均值大于3.5℃）。而朝鲜半岛和山东山地气温变化剧烈，气温年较差平均值大于27℃，且冬季月均温平均值小于0℃，年最冷月均温平均值小于 -2.0℃，是造成铁杉属在这些地区无法生长的主要气候原因。上述气候要素值对比研究表明，铁杉属对年均温、尤其是气温年较差和冬季气温（冬季月均温和年最冷月均温）敏感，这些气温条件也是造成铁杉属在亚洲季风区现代分布格局的气候原因。

2.4　地质历史时期铁杉属分布对气候变化的响应

自白垩纪出现铁杉型化石孢粉以来（Macko，1963），整个新生代，铁杉属在北美、欧洲和亚洲都有广泛的分布（LePage，2003a）。化石记录

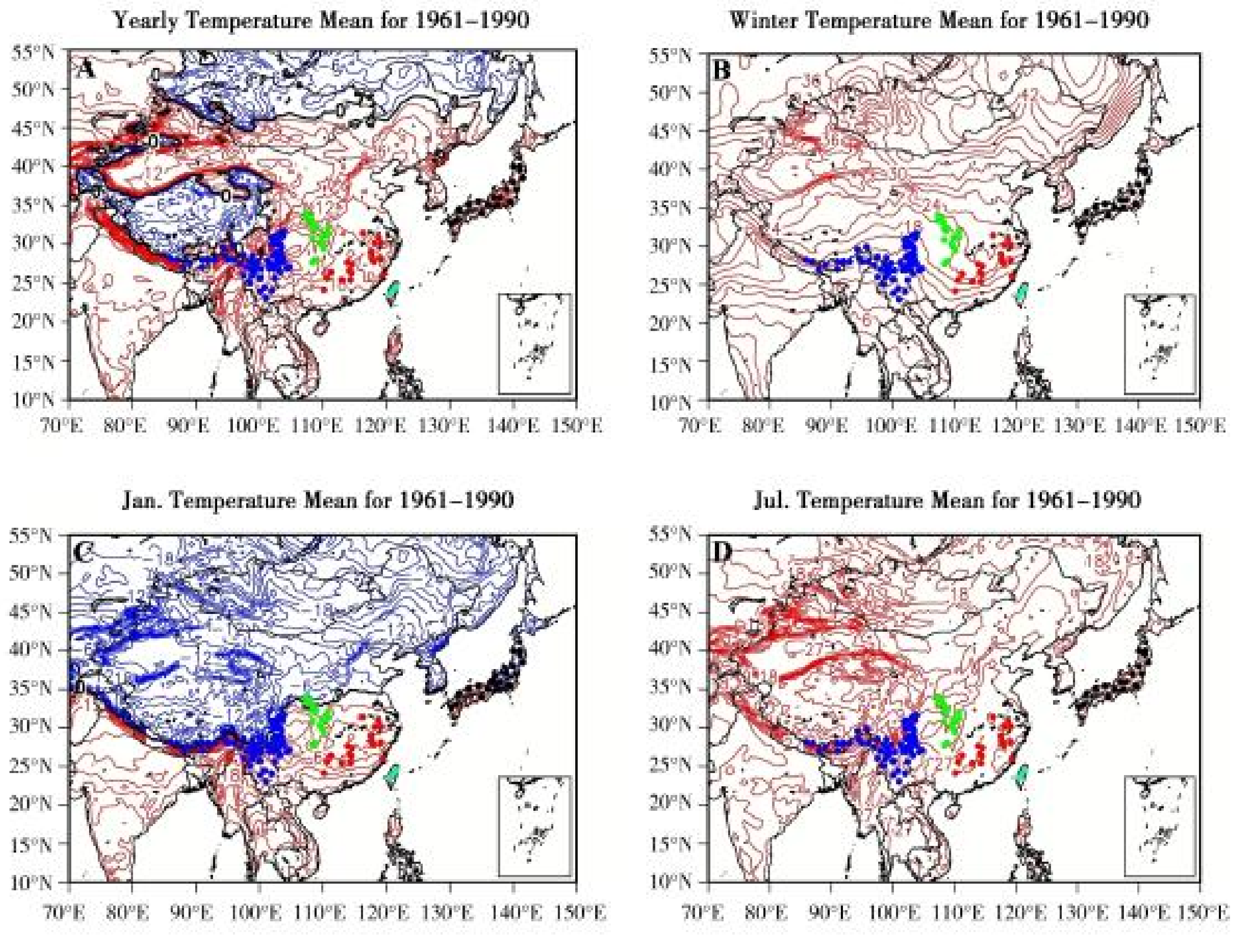

图 3　亚洲季风区铁杉属现代地理分布与温度指标　A. 年均温; B. 气温年较差; C. 最冷月均温; D. 最暖月均温. 图例见图 1

Fig. 3　Temperature indices and *Tsuga* modern geographic distributions　A. annual mean temperature; B. annual range of monthly mean temperature; C. mean temperature for the warmest month; D. mean temperature for the coldest month. Legends see in Fig. 1

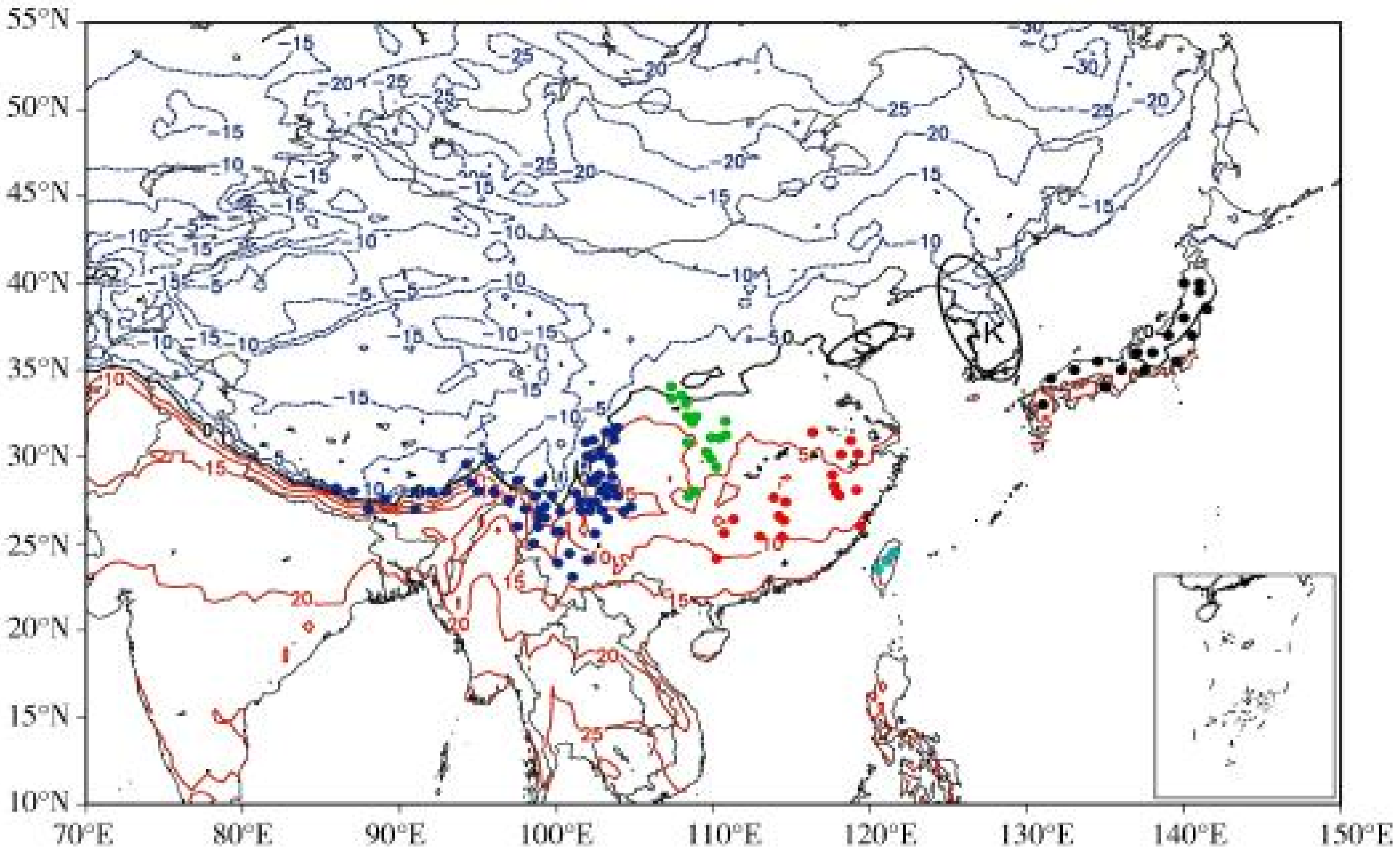

图 4　亚洲季风区铁杉属现代地理分布与冬季月均温 (暗蓝色圆点: 西南山区; 绿色圆点: 中部山区; 红色圆点: 东南山区; 浅蓝色圆点: 台湾中央山脉; 黑色圆点: 日本列岛 (除北海道); S: 山东山地; K: 朝鲜半岛及其邻近的中国东北地区)

Fig. 4　Winter mean temperature and *Tsuga* modern geographical distribution in the Asian Monsoon region. Dark blue dots: the southwestern mountains; Green dots: the central mountains; Red dots: the southeastern mountains; Sky blue dots: the Taiwan Central Range; Black dots: the Japanese Archipelago (except Hokkaido); S: the Shandong mountainous region; K: Korean peninsula and its adjacent northeast China region

表 1　亚洲季风区东部铁杉属分布区的气候特征指标

Table 1　Climatic indices of *Tsuga* modern geographic distribution regions in the eastern part of the Asian Monsoon region

气候参数 Climatic indices	西南山区 Southwestern Mountains		中部山区 Central Mountains		东南山地 Southeastern Mountains		中国大陆 Chinese Mainland		台湾中央山脉 Taiwan Central Ranges		日本列岛（除北海道) Japanese Archipelago (except Hokkaido)		亚洲季风区东部 eastern part of the Asian Monsoon region	
	平均值 Mean	范围 Range	平均值 Mean	范围 Range	平均值 Mean	范围 Range	平均值 Mean	范围 Range	平均值 Mean	范围 Range	平均值 Mean	范围 Range	平均值 Mean	范围 Range
年降水量 AP (mm)	1000	720-1461	1060	794-1264	1520	1352-1634	1193	720-1634	2069	1962-2103	1635	1425-2011	1457	720-2103
生长季降水量 GP (mm)	877	644-1255	804	635-913	921	844-998	867	635-1255	1439	1345-1489	1099	915-1468	1028	635-1489
年均温 MAT (℃)	10.1	5.8-16.1	13.0	10.9-14.5	16.8	14.8-18.2	13.3	5.8-18.2	15.0	13.0-16.3	10.8	8.7-14.1	13.1	5.8-18.2
冬季月均温 WMT (℃)	3.0	-2.7-9.9	2.8	0.3-4.3	6.5	3.4-9.5	4.1	-2.7-9.9	10.3	8.4-11.5	0.4	-2.3-4.2	4.6	-2.7-11.5
年最冷月均温 MTC (℃)	2.0	-3.7-9.0	1.7	-0.7-3.3	5.5	2.2-8.6	3.1	-3.7-9.0	9.6	7.6-10.9	-0.8	-3.5-3.2	3.6	-3.7-10.9
年最暖月均温 MTW (℃)	17.0	13.0-22.0	23.7	21.4-25.2	27.3	26.0-28.2	22.7	13.0-28.2	19.9	17.9-20.9	23.4	21.5-25.5	22.3	13.0-28.2
气温年较差 ART (℃)	15.1	12.4-17.7	22.0	21.3-22.8	21.9	19.5-23.8	19.7	12.4-23.8	10.3	9.7-10.9	24.1	22.3-25.4	18.7	9.7-25.4

表 2　亚洲季风区东部铁杉属分布区与对照山区的气候指标

Table 2　Climatic indices of *Tsuga* geographic distribution regions and *Tsgua*-free mountainous regions in the eastern part of the Asian Monsoon region

气候参数 Climatic indices	铁杉属分布区 *Tsuga* distribution regions				对照山区 *Tsuga*-free mountainous regions			
	中国大陆 Chinese Mainland		亚洲季风区东部 eastern part of the Asian Monsoon region		朝鲜半岛及其邻近的我国东北地区 Korean Peninsula and its adjacent northeast China mountainous region		山东山地 Shandong mountainous region	
	平均值 Mean	范围 Range	平均值 Mean	范围 Range	平均值 Mean	范围 Range	平均值 Mean	范围 Range
年降水量 AP (mm)	1193	720-1634	1457	720-2103	1064	770-1329	721	701-859
生长季降水量 GP (mm)	867	635-1255	1028	635-1489	872	649-1056	612	596-699
年均温 MAT (℃)	13.3	5.8-18.2	13.1	5.8-18.2	6.8	0.4-11.9	12.3	10.8-13.3
冬季月均温 WMT (℃)	4.1	-2.7-9.9	4.6	-2.7-11.5	-8.5	-14.4-2.8	-0.9	-2.4-0.2
年最冷月均温 MTC (℃)	3.1	-3.7-9.0	3.6	-3.7-10.9	-10.6	-16.7-4.5	-2.4	-3.8-1.3
年最暖月均温 MTW (℃)	22.7	13.0-28.2	22.3	13.0-28.2	21.9	18.9-23.9	25.3	23.7-26.3
气温年较差 ART (℃)	19.7	12.4-23.8	18.7	9.7-25.4	32.5	27.9-36.9	27.7	26.2-28.1

注：**黑体数据表示东亚季风区东部适合铁杉属生长的气候特征参数，斜体数据表示不适合铁杉属生长的气候特征参数；气候指标缩写见正文**

Note: Bold indicated the suitable climatic conditions and italic indicated the unsuitable climatic conditions of *Tsuga* growth in the eastern part of the Asian monsoon region; Indices aberrations see in the text

表明，在晚古新世到始新世，铁杉属主要分布在英格兰，爱尔兰，斯匹兹卑尔根群岛，阿克塞尔·海伯格岛和美国西部的高纬度地区（Kirchheimer，1934；Manum，1962；Ferguson，1967；Boulter and Kvacek，1989；Basinger，1991；Wehr and Schorn，1992)。而到渐新世，中低纬度的铁杉属化石记录明显增多（Florin，1963)，这显然与极热期后的全球气候变凉密切相关。在晚渐新世到早中新世，随着北大西洋陆桥的消失，同时图尔盖地区的气候变得干旱而寒冷，铁杉属在这些地区随之消失，欧洲、东亚和北美的铁杉属植物交流中断，形成各自独立的类群，且种类得到很好地分化（Gnibidenko 等，1999；LePage，2003b)。在中新世时，由于全球气候变凉和变干旱，铁杉属在亚洲和北美很多地方消失，但在加拿大靠近北极地区，北大西洋和俄罗斯，铁杉属至少存活到中到晚上新世（Borisova，1973；Matthews and Oveden，1990；Willard，1994)。法国南部晚上新世到早更新世（2.16 - 1.96Myr）古湖泊的沉积物表明，欧洲当时是一种温暖、湿润的气候（LePage，2003b)，此时铁杉属仍广泛分布在欧洲(Ferguson，1967)。而第四纪冰期导致欧洲铁杉属完全灭绝（LePage，2003a，b)。在日本，原来分布到本州东北部和北海道的 *T. diversifolia* 在最后一次大冰期后，退却到本州中部形成现在的分布格局（Tsukada，1985)。

在中国，铁杉属在华北、东北早第三纪广泛分布（李文漪，1998；张一勇，1999)，至少到达48°N（黑龙江绥滨县，夏玉梅等，1987)；在中新世从西北的青海一直到华东的江苏等地都有分布（王伟铭，1999；Sun 等，2005)，曾是中新世中期植被的重要成分，至上新世末分布区显著减小，经过第四纪冰期 - 间冰期旋回，最终形成今天铁杉间断分布于秦岭以南，亚洲季风区东部的格局（李楠，1999)。已有的第四纪孢粉记录研究表明，铁杉属在一定程度上表现出其对温度的敏感响应。在冰后期的全新世气候适宜期，当时温度较现代高 2～3℃（Shi 等，1993；An 等，1993；Wang and Gong，2000；彭晓莹等，2005)，铁杉属植物曾越过秦岭北进至华北地区（孔昭宸等，1992；许清海等，1991；李文漪，1998；王晓岚等，2004)；而在末次冰盛期，该区整体植被呈现干草原景观，未曾有铁杉属花粉发现（郭盛乔等，2005)。化石历史也表明铁杉属分布喜好温凉而湿润的环境，在地理分布上显示了其对气候要素的特定要求。

3 结论

在东亚，铁杉属主要分布在亚洲季风区，间断分布于我国横断山 - 东喜马拉雅地区、秦岭 - 大巴山区、华东山地、台湾中央山脉以及日本列岛（除北海道）山地。亚洲季风区现代铁杉属的分布要求年降水量范围为 720～2 103 mm，生长季降水量范围为 635～1 489 mm，年平均温度范围为 5.8～18.2℃，冬季月均温 - 2.7～11.5℃，年最冷月均温为 - 3.7～10.9℃，年最暖月均温为 13.0～28.2℃，气温年较差为 9.7～25.4℃。亚洲季风区气候湿润（年降水量大于 700 mm)，能够满足铁杉属生长的水分需求，水分条件并不是亚洲季风区铁杉属间断分布的气候因素。而无铁杉属分布的山东山地和朝鲜半岛及其邻近的我国东北地区山地的气候特征表明，这些地区不能完全满足铁杉属分布的气温条件，这也是这些地区没有发现铁杉属现代分布的原因。这些对照区域与铁杉属分布区的气候特征比较分析表明，气温条件，尤其是冬季月均温、年最冷月均温和气温年较差成为铁杉属在东亚季风区生长的限制条件。

致谢 承蒙中国科学院地球环境研究所安芷生院士亲自指导分析数据，并对文稿修改提出了宝贵意见；承蒙该所卢凤艳女士提供地质历史时期铁杉属分布资料，宴利斌先生提供气象资料并绘制所有插图。

〔参 考 文 献〕

王伟铭，1999．晚第三纪孢粉植物群［A］．见：宋之琛（主编）．中国孢粉化石（第一卷）：晚白垩纪和第三纪孢粉［M］．北京：科学出版社，741—789

孔昭宸，杜乃秋，许清海等，1992．中国北方全新世大暖期植物群的古气候波动［A］．见：施雅风，孔昭宸主编．中国全新世大暖期气候与环境［M］．北京：海洋出版社，48—65

李楠，1999．论松科植物的地理分布、起源与扩散［A］．见：路安民主编．种子植物科属地理［M］．北京：科学出版社，17—39

李文漪，1998．中国第四纪植被与环境［M］．北京：科学出版社，

56—70

安芷生，吴锡浩，卢演俦等，1990．最近 2 万年中国古环境变迁的初步研究［A］．见：刘东生主编．黄土、第四纪地质、全球变化（第二集）［M］．北京：科学出版社，1—26

吴征镒，1983．中国植被［M］．北京：科学出版社，228—230

张一勇，1999．化石花粉 - 有囊类 - 环囊类［A］．见：宋之琛（主编）．中国孢粉化石（第一卷）：晚白垩纪和第三纪孢粉［M］．北京：科学出版社，192—198

姜恕，1960．四川省西部山地的草甸和森林［J］．植物学报，9（2）：125—136

施雅风，孔昭宸，王苏民等，1992．中国全新世大暖期气候与环境的基本特征［A］．见：施雅风，孔昭宸（主编）．中国全新世大暖期气候与环境［M］．北京：海洋出版社，1—18

夏玉梅，汪佩芳，王曼华，1987．三江平原新第三纪 - 第四纪孢粉组合特征与古气候的探讨［A］．见：中国地质学会第四纪冰川与第四纪地质专业委员会（编）．第四纪冰川与第四纪地质论文集（三）［M］．北京：地质出版社，151—168

An ZS, Bott S, Wu XH *et al.*, 1993. Holocene Optimum and East Monsoon change in middle-east China [J]. *Chinese Science Bulletin*, 38: 1302—1305

Basinger JF, 1991. The fossil forests of the Buchanan Lake Formation (early Tertiary), Axel Heiberg Island, Canadian Arctic Archipelago: preliminary floristics and paleoclimate [J]. *Geological Survey of Canada, Bulletin*, 403: 39—65

Borisova ZK, 1973. Pliocene sediments in the Penzhina River Basin [J]. *Doklady Academia Nauka SSSR, Earth Science Section*, 212: 38—40

Boulter MC, Kvacek Z, 1989. The Palaeocene flora of the Isle of Mull [J]. *Special Papers in Palaeontology*, 42: 1—149

Burns RM, Honkala BH, 1990. Silvics of North America, Conifers [M]. Washington DC: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Agriculture Handbook 654. Vol. 1: 1—877

Choi BC, Davies TD, Osborn TJ *et al.*, 1998. On the relationship between Eurasian snow cover and summer rainfall in South Korea, part I: statistical analysis [J]. *Journal of the Korean Meteorological Society*, 34: 478—485

Eyre FH, 1980. Forest cover types of the United States and Canada [M]. Washington, D. C.: Society of American Foresters

Farjon A, 1990. Pinaceae. Drawings and descriptions of the genera *Abies*, *Cedrus*, *Pseudolarix*, *Keteleeria*, *Nothotsuga*, *Tsuga*, *Cathaya*, *Pseudotsuga*, *Larix* and *Picea* [M]. K nigstein: Koeltz Scientific Books

Ferguson DK, 1967. On the phytogeography of Coniferales in the European Cenozoic [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 3: 73—110

Florin R, 1963. The distribution of conifer and taxad genera in time and space [J]. *Acta Horti Bergiani*, 20: 121—312

Fu LG, Li N, Mill RR, 1999. Pinaceae [A]. In: Wu ZY, Raven PH (eds). Flora of China [M]. Beijing: Science Press; St. Louis: Missouri Botanical Garden. Volume 4: 11—52

Gnibidenko ZN, Martynov VA, Nikitin VP *et al.*, 1999. Magnetostratigraphic and paleobotanical description of the Miocene deposits in the Beshcheul Horizon of west Siberia [J]. *Russian Geology and Geophysics*, 40: 1776—1788

Guo SQ (郭盛乔), Wang SM (王苏民), Yang LJ (杨丽娟), 2005. Climatic and Environmental Change in North China Plain during the Last Glacial Maximum [J]. *Geological Review* (地质论评), 51 (4): 423—427

Haas JN, Mcandrews JH, 2000. The summer drought related hemlock (*Tsuga canadensis*) decline in eastern North America 5, 700 to 5, 100 years ago [J]. *Symposium on Sustainable Management of Hemlock Ecosystems in Eastern North America, Proceedings*, 267: 81—88

Havill NP, Campbell CS, Vining TF *et al.*, 2008. Phylogeny and biogeography of *Tsuga* (Pinaceae) inferred from nuclear ribosomal ITS and chloroplast DNA sequence data [J]. *Systematic Botany*, 33 (3): 478—489

Horikawa Y, 1976. Atlas of the Japanese Flora-An introduction to plant sociology of East Asia [M]. Tokyo: Gakken Com. Ltd., 5—21

Hsieh CF, Shen CF, Yang KC, 1994. Introduction to the flora of Taiwan, 3: floristics, phytogeography, and vegetation [A]. In: Huang TC (ed). Flora of Taiwan (2nd) [M]. Taipei: Sandos Chromagraph Printing Company, Ltd., Vol. 1: 7—16

Ishizuka K, 1974. Mountain vegetation [A]. In: Numata M (ed). The flora and vegetation of Japan [M]. Tokyo: Kodansha Ltd., 173—210

Kirchheimer F, 1934. ber *Tsuga*-Pollen aus dem Terti r [J]. *Planta*, 22: 171—179

LePage BA, 2003a. A new species of *Tsuga* (Pinaceae) from the middle Eocene of Axel Heiberg Island, Canada, and an assessment of the evolution and biogeographical history of the genus [J]. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 141 (3): 257—296

LePage BA, 2003b. The evolution, biogeography and palaeoecology of the Pinaceae based on fossil and extant representatives [J]. *Acta Horticulturae*, 615: 29—52

Li HL, Keng H, 1994. Pinaceae [A]. In: Huang TC (ed). Flora of Taiwan (2nd) [M]. Taipei: Sandos Chromagraph Printing Company, Ltd., Vol. 1: 567—581

Liu LH (刘伦辉), Qiu XZ (邱学忠), 1980. Studies on geographic distributions and situations of vertical zone of the Chinese *Tsuga* forest [J]. *Acta Botanica Yunnanica* (云南植物研究), 2 (1): 9—21

Macko S, 1963. Sporomorphs from Upper Cretaceous near Opole (Silesia) and from the London Clays [J]. *Travaux de la Sociétéé des Sciences et des Lettres de Wroclaw, Séria B*, 106: 1—136

Manum SB, 1962. Studies in the Tertiary flora of Spitsbergen, with notes on Tertiary floras of Ellesmere Island, Greenland, and Iceland [J]. *Norsk Polarinstitutt Skrifter*, 125: 1—127

Matthews JV, Ovenden LE, 1990. Late Tertiary plant macrofossils from localities in Arctic Subarctic North America: a review of the data [J]. *Arctic*, 43: 364—392

New M, Lister D, Hulme M *et al.*, 2002. A high-resolution data set of surface climate over global land areas [J]. *Climate Research*, 21:

1—25

Page CN, 1990. Pinaceae [A]. In: Kubitzki K (ed). The Families and Genera of Vascular Plants [M]. Berlin: Springer-Verlag, 319—331

Peng XY (彭晓莹), Zhong W (钟巍), Zhao YJ (赵引娟) *et al.*, 2005. Preliminary research in the Holocene Hypsithermal climate change [J]. *Journal of South China Normal University* (Natural Science Edition) (华南师范大学学报 (自然科学版)), (2): 52—61

Peterson DW, Peterson DL, 2001. Mountain hemlock growth responds to climatic variability at annual and decadal the scales [J]. *Ecology*, 82 (12): 3330—3345

Shi YF (施雅风), Kong ZC (孔昭宸), Wang SM (王苏民) *et al.*, 1993. The mid-Holocene Megathermal climate and environment in China [J]. *Science China Series B-Chemistry* (中国科学 B辑), 23 (8): 865—872

Shidei T, 1974. Forest vegetation zones [A]. In: Numata M (ed). The flora and vegetation of Japan [M]. Tokyo: Kodansha Ltd., 87—124

Sun XJ, Wang PX, 2005. How old is the Asian monsoon system? - Palaeobotanical records from China [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 222 (3-4): 181—222

Thieret JW, 1993. Pinaceae [A]. In: FoNAE Committee (ed). Flora of North America North of Mexico [M]. New York and Oxford: Oxford University Press, Vol. 2: 352—354

Tsukada M, 1985. Map of vegetation during the last glacial maximum in Japan [J]. *Quaternary Research*, 23: 369—381

Wang SW, Gong YD, 2000. Climate in China during the four special periods in Holocene [J]. *Progress in Natural Science*, 10 (5): 379—386

Wehr WC, Schorn HE, 1992. Current research on Eocene conifers at Republic, Washington [J]. *Washington Geology*, 20 (2): 20—23

Wen XY (闻新宇), Wang SW (王绍武), Zhu JH (朱锦红) *et al.*, 2006. An overview of China climate change over the 20th Century using UK UEA CRU high resolution grid data [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (大气科学), 30 (5): 894—904

Willard DA, 1994. Palynological record from the North Atlantic region at 3Ma: vegetational distribution during a period of global warmth [J]. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 83: 275—297

Yang XC (杨续超), Zhang YL (张镱锂), Liu LS (刘林山) *et al.*, 2009. Sensitivity of surface air temperature change to land types in China [J]. *Science China Series D-Earth* (中国科学 D辑), Sci. DOI: 10.1007 s11430-009-0085--0

Zaiki M, Konnen GP, Tsukahara T *et al.*, 2006. Recovery of the 19th century Tokyo Osaka meteorological data in Japan [J]. *International Journal of Climatology*, 26: 399—423